

Review Artikel

Aktivitas Farmakologi Jamur Endofit Tanaman Suku Zingiberaceae Sebagai Kandidat Produk Kosmetik Hijau

Caresya Insani Bangsa Nabila¹, Ni Putu Ariantari^{1,2,3*}

¹Program Studi Farmasi, Fakultas MIPA, Universitas Udayana

²Program Studi Profesi Apoteker, Fakultas MIPA, Universitas Udayana,

³Laboratorium Molekuler Forensik, Universitas Udayana, putu_ariantari@unud.ac.id

*Penulis Korespondensi

Abstrak– Kosmetik hijau adalah kosmetik yang terbuat dari bahan alami, tanpa pewarna atau pengawet buatan, dan lebih ramah lingkungan. Konsumen yang sadar kesehatan akan memilih produk kosmetik hijau karena tidak mengandung bahan yang dapat membahayakan tubuh. Mikroorganisme yang berpotensi untuk dijadikan bahan kosmetik hijau adalah jamur endofit. Jamur endofit adalah mikroorganisme yang hidup di dalam jaringan tanaman, seperti bunga, akar, daun, batang, hingga biji. Jamur endofit tidak membahayakan atau merugikan tanaman inangnya. Jamur endofit merupakan sumber potensial senyawa metabolit. Kajian ini disusun berdasarkan studi literatur jurnal nasional dan internasional menggunakan basis data Google Scholar, Science Direct, dan PubMed yang kemudian dipilah sesuai kriteria inklusi dan eksklusi. Jamur endofit dari tanaman suku Zingiberaceae seperti *Zingiber officinale*, *Kaempferia galanga*, *Curcuma longa*, dan *Curcuma xanthorrhiza* menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap strain bakteri *Staphylococcus aureus*. Diameter zona hambat jamur endofit tanaman tersebut berada pada rentang 8-32 mm. Selain itu, pada jamur endofit dari tanaman suku Zingiberaceae juga terdapat aktivitas antioksidan. Berbagai hasil studi tersebut menunjukkan jamur endofit dari tanaman rimpang berpeluang dikembangkan lebih lanjut sebagai bahan baku produk kosmetik, khususnya untuk produk anti jerawat dan juga *anti-aging*. Penelitian lebih lanjut untuk menemukan senyawa bioaktif dari jamur endofit tanaman suku Zingiberaceae perlu dilakukan untuk eksplorasi mikroorganisme dalam sebagai sumber bahan baku produk kosmetik hijau.

Kata Kunci– Antibakteri, anti-aging, jamur endofit, kosmetik hijau, Zingiberaceae

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2020, bisnis kosmetik meningkat sebanyak 2% jika dibandingkan tahun 2019. Peningkatan ini dikarenakan banyaknya masyarakat Indonesia yang berusia 15 hingga 64 tahun yang tertarik dengan bisnis kosmetik. Demografi penduduk Indonesia yang berusia 15 hingga 64 tahun pada tahun 2019 berjumlah 183,36 juta jiwa. Jumlah ini terus meningkat hingga 1,25% setiap tahunnya. Selain itu, pasar kosmetik nasional memiliki nilai USD 9 triliun pada 2019, sedangkan pasar barang herbal nasional memiliki nilai Rp 11 triliun. Produk kosmetik, khususnya produk impor dan produk bermerek internasional yang diproduksi secara lokal, berkontribusi terhadap hasil tersebut [1].

Dengan berkembangnya isu-isu seperti ekologi dan keberlanjutan, banyak konsumen memilih “kosmetik hijau” seperti krim, perias wajah, dan produk kecantikan yang ramah lingkungan, dengan harapan tidak membahayakan kesehatan dan mengurangi polusi [2]. Konsumen menunjukkan adanya peningkatan minat terhadap bahan-bahan alami, penggunaan kemasan ramah lingkungan, dan elemen kosmetik hijau lainnya. Kosmetik hijau adalah tren baru

dalam industri kecantikan pribadi. Definisi konsumen tentang kosmetik hijau umumnya mempertimbangkan bahan alami dan perlindungan lingkungan [3]. Kosmetik hijau menghadirkan daya tarik ekologis dan mengklaim proses pengembangan serta produksinya menerapkan prinsip-prinsip Kimia Hijau (*Green Chemistry*). Kimia Hijau dapat didefinisikan sebagai serangkaian proses dan produk yang mengurangi atau menghilangkan penggunaan atau pembentukan zat berbahaya. Kosmetik hijau mewakili perspektif pengurangan risiko terhadap kesehatan manusia dan dampak lingkungan yang disebabkan oleh kosmetik [4]. Sebagai salah satu jenis produk hijau, kosmetik hijau mendapatkan perhatian lebih di kalangan konsumen. Kosmetik hijau terbuat dari bahan alami tanpa bahan kimia, pewarna buatan, atau bahan lainnya. Kosmetik hijau sering disebut kosmetik organik [5].

Kosmetik dapat dikatakan “hijau” jika formulasinya mengandung bahan aktif yang berasal dari bahan alam, seperti mineral dan tumbuhan, dan bukan bahan aktif analog yang direproduksi secara kimia di laboratorium [2]. Kosmetik hijau yang tersedia di Indonesia lebih sedikit dibandingkan dengan produk kosmetik pada umumnya. Potensi pasar yang besar untuk produk kosmetik di Indonesia memberikan lebih banyak ruang untuk kosmetik hijau, khususnya produk perawatan kulit hijau, untuk menarik lebih banyak konsumen dan mendukung kebutuhan untuk melindungi lingkungan [5].

Bahan aktif kosmetik hijau dapat berasal dari tumbuhan, akan tetapi eksploitasi tumbuhan untuk produksi kosmetik skala industri berpotensi mempengaruhi keberlanjutan ketersediaan sumber daya hayati. Penerapan bioteknologi melalui proses fermentasi mikroorganisme yang berasosiasi dengan tanaman penghasil metabolit sekunder merupakan salah satu pendekatan untuk mengatasi hal tersebut. Salah satu mikroorganisme yang berpotensi menghasilkan metabolit sekunder yaitu jamur endofit [6]. Jamur endofit didefinisikan sebagai mikroba yang hidup asimtomatis dalam jaringan tanaman, tidak menyebabkan kerusakan pada tanaman inang dan diisolasi dari permukaan eksplan yang telah disterilkan [7]. Jamur endofit hidup di dalam jaringan tanaman inang melalui symbiosis mutualisme dan menghabiskan sebagian besar siklus hidupnya di dalam tanaman inang. Jamur endofit dapat ditemukan pada berbagai bagian tanaman, misalnya tangkai daun, daun, batang, kulit kayu, dan struktur reproduksi yang membedakan mereka dari simbiosis mikoriza. Metabolit bioaktif yang dihasilkan oleh jamur endofit dapat dipengaruhi oleh faktor biotik dan abiotik di habitat tanaman inangnya. Produksi metabolit sekunder oleh jamur endofit menguntungkan tanaman inang dengan meningkatkan adaptabilitas tanaman inang terhadap lingkungan tumbuh yang kurang menguntungkan [8]. Senyawa yang dapat diisolasi dari jamur endofit antara lain senyawa golongan alkaloid, fenol/polifenol, steroid, terpenoid, kuinon, peptida, dan poliketida [9].

Tanaman lokal yang telah banyak digunakan secara empiris dalam berbagai sistem pengobatan tradisional yaitu tanaman dari suku temu-temuan. Bagian utama tanaman yang dimanfaatkan adalah rimpang (rhizoma). Rimpang adalah modifikasi batang yang menjalar pada tanah, serta memiliki bentuk seperti tunas dan akar baru yang berasal dari ruasnya [10]. Rimpang termasuk ke dalam famili Zingiberaceae dan umbi batangnya berada di bawah tanah [11]. Rimpang

memiliki fungsi tambahan sebagai tempat penyimpanan produk metabolisme (metabolit) tertentu [12]. Contoh tanaman rimpang yaitu jahe, kencur, kunyit, dan temulawak.

Jahe (*Zingiber officinale* Roscoe) mengandung senyawa utama seperti gingerol dan shogaol. Aktivitas farmakologis pada jahe antara lain antioksidan, antiinflamasi, dan antikanker [13]. Kencur memiliki nama latin *Kaempferia galanga* L. Senyawa utama yang banyak terkandung pada kencur yaitu etil parametoksisinamat (EPMS) [14]. Kencur memiliki aktivitas farmakologi sebagai antikanker, antioksidan, anti inflamasi, analgesik dan antibakteri [15]. Rimpang kunyit banyak dimanfaatkan sebagai bahan obat karena memiliki kandungan minyak esensial. Kunyit juga (*Curcuma longa/Curcuma domestica*) mengandung metabolit sekunder seperti alkaloid, lipid, flavonoid dan tanin [16]. Senyawa utama yang banyak terkandung pada kunyit yaitu kurkumin. Kunyit memiliki aktivitas farmakologi sebagai antiinflamasi, antioksidan, antivirus, dan antibakteri [17]. Temulawak secara ilmiah dikenal sebagai *Curcuma xanthorrhiza*. Temulawak mengandung berbagai senyawa bioaktif, seperti kurkuminoid, kamper, geranil asetat, zerumbon, zingiberen, dan xanthorrhizol. Aktivitas farmakologis yang ditemukan pada temulawak antara lain antimikroba, antiinflamasi, antioksidan, dan hiperglikemia [13].

Berdasarkan studi literatur, penelitian terkait aktivitas farmakologis jamur endofit pada tanaman Zingiberaceae, seperti *Z. officinale*, *K. galanga*, *C. longa*, dan *C. xanthorrhiza* telah banyak dilakukan. Artikel ini membahas secara spesifik mengenai aktivitas farmakologis jamur endofit pada tanaman suku Zingiberaceae dengan terutama aktivitas antibakteri dan antioksidan. Review artikel ini bertujuan untuk memberikan data terkini aktivitas farmakologi jamur endofit yang diisolasi dari tanaman suku Zingiberaceae yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan produk kosmetik hijau yang aman bagi kesehatan dan lingkungan.

2. METODE

Penyusunan artikel ini menggunakan metode studi literatur dengan sumber data yang merupakan hasil penelitian terpublikasi dalam jurnal nasional dan internasional. Pencarian artikel menggunakan basis data Google Scholar, Science Direct, dan PubMed. Pencarian jurnal menggunakan kata kunci seperti “*endophytic fungi from Zingiberaceae*”, “*antibacterial activity of endophytic fungi from Zingiberaceae*”, dan “*antioxidant activity of endophytic fungi from Zingiberaceae*”. Sumber atau referensi yang diperoleh dipilah berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Penetapan kriteria inklusi yaitu data berupa jurnal baik nasional, internasional dan artikel ilmiah yang melaporkan hasil penelitian jamur endofit tanaman suku Zingiberaceae beserta aktivitas farmakologinya baik secara *in silico*, *in vitro* dan *in vivo* sebagai antibakteri atau antioksidan, serta dipublikasikan dalam rentang 5 tahun terakhir. Kriteria eksklusinya yaitu jurnal nasional maupun internasional dan artikel ilmiah yang dipublikasikan lebih dari 5 tahun yang lalu dengan pengecualian sumber empiris.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas Antibakteri

Antibakteri adalah senyawa yang dapat mengendalikan pertumbuhan bakteri yang bersifat patogen. Pengendalian pertumbuhan bakteri memiliki tujuan untuk mencegah terjadinya infeksi dan penyebaran penyakit [18]. Penyakit yang dapat disebabkan oleh bakteri yaitu jerawat. Jerawat adalah gangguan kulit umum yang melibatkan produksi sebum berlebih dan komposisi lipid yang dimodifikasi, penyumbatan saluran, kolonisasi oleh bakteri, dan peradangan. Terapi farmakologi untuk jerawat yang disebabkan oleh infeksi bakteri baik kasus sedang hingga parah yaitu dengan pemberian antibiotik. Obat-obatan yang termasuk sebagai antibiotik memiliki potensi yang besar, tetapi kehilangan aktivitas melawan strain yang resisten. Saat ini krisis resistensi antibiotik juga berdampak pada terapi jerawat akibat bakteri. Strain *Propionibacterium acnes* yang resisten telah dilaporkan di banyak negara (dengan resistensi terutama pada eritromisin dan klindamisin topikal), dan penggunaan antibiotik topikal dikaitkan dengan resistensi pada bakteri komensal lainnya, seperti *Staphylococcus aureus* [19].

Salah satu mikroorganisme yang dapat menyebabkan jerawat yaitu bakteri *S. aureus* [20]. Meskipun *S. aureus* adalah mikroorganisme normal pada kulit, saluran pernapasan, selaput lendir, dan saluran pencernaan, namun *S. aureus* dapat menyerang organ atau sistem mana pun untuk menghasilkan infeksi mulai dari penyakit lokal hingga penyakit invasif. Jika infeksi dibiarkan tanpa pengawasan pada mikroorganisme, maka infeksi dapat menyebar ke jaringan sekitarnya dan lesi kecil menjadi jauh lebih besar. Akan terjadi pembengkakan, kulit, meradang, lesi lokal yang berbatasan oleh deposisi fibrin oleh jaringan dan pelapisan dinding adalah untuk mencegah infeksi *Staphylococcus* yang lebih parah [21].

Beberapa strain bakteri telah memperoleh resistensi terhadap hampir semua antibiotik. Oleh karena itu, diperlukan agen antibakteri baru untuk mengatasi bakteri yang resisten [22]. Telah banyak dilakukan penelitian mengenai uji aktivitas antibakteri dari jamur endofit pada tanaman Zingiberaceae seperti *Z. officinale*, *K. galanga*, *C. longa*, dan *C. xanthorrhiza*. Pada artikel ini, dikaji beberapa hasil penelitian terkait aktivitas antibakteri dari jamur endofit tanaman suku Zingiberaceae. Daya hambat jamur endofit tanaman suku Zingiberaceae terhadap bakteri *S. aureus* dan *Methicillin Resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Aktivitas Jamur Endofit Tanaman dari Suku Zingiberaceae terhadap *S. aureus* dan MRSA dengan Metode Difusi Cakram

Tanaman inang, bagian tanaman	Spesies jamur endofit	Lokasi tanaman inang	Strain bakteri	Zona hambat (mm)	Referensi
<i>Z. officinale</i> , rimpang	<i>Aspergillus austroafricanus</i> CGJ-B3	Karnataka, India	<i>S. aureus</i>	7-24	[23]
<i>Z. officinale</i> , rimpang	<i>Aspergillus</i> sp.	Bali, Indonesia	MRSA	32	[24]

<i>Z. officinale</i> , rimpang	<i>Fusarium</i> sp.	Bali, Indonesia	MRSA	25	[24]
<i>C. longa</i> L., daun	<i>Aspergillus</i> <i>terreus</i> N-GL1	Ho Chi Minh, Vietnam	<i>S. aureus</i>	20	[25]
			MRSA	19	[25]
<i>K. galanga</i> L., daun dan rimpang	<i>Fusarium</i> sp.	Sumatera Barat, Indonesia	<i>S. aureus</i>	8	[26]
	<i>Drechera</i> sp.			11,50	
	<i>Torulla</i> sp.			12,75	

Efek antibakteri jamur endofit tanaman suku Zingiberaceae dilakukan secara *in vitro* dengan metode difusi cakram melalui pengukuran diameter zona bening yang terbentuk. Semakin besar diameter zona bening menunjukkan aktivitas antibakteri yang semakin kuat. Diameter zona hambat yang diperoleh bervariasi tergantung tanaman inang (*host*), lokasi tumbuh/habitat tanaman inang dan spesies jamur endofit yang diisolasi. Aktivitas antibakteri tergolong lemah apabila diameter zona hambatnya < 5 mm; sedang apabila zona hambatnya 6-10 mm; kuat apabila zona hambatnya 11-20 mm; dan sangat kuat apabila zona hambatnya ≥ 21 mm [24]. Berdasarkan hasil penelitian uji antibakteri yang telah disajikan pada tabel 1, jamur endofit tanaman suku Zingiberaceae terbukti memiliki aktivitas antibakteri terhadap strain bakteri *S. aureus*. Zona hambat paling besar terhadap strain bakteri *S. aureus* ditunjukkan oleh spesies jamur *A. austroafricanus* CGJ-B3 yang diisolasi dari rimpang *Z. officinale* dengan diameter terbesar yaitu 24 mm. Sedangkan zona hambat paling besar terhadap *Methicillin resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) ditunjukkan oleh spesies jamur *Aspergillus* sp. yang diisolasi dari rimpang *Z. officinale* dengan diameter sebesar 32 mm. Zona hambat yang diperoleh menunjukkan bahwa spesies jamur *A. austroafricanus* CGJ-B3 dan *Aspergillus* sp. yang diisolasi dari rimpang *Z. officinale* memiliki potensi sebagai antibakteri yang memiliki aktivitas sangat kuat.

Pada pengujian antibakteri secara *in vitro* dengan metode mikrodilusi, kerentanan dan resistensi antibakteri dapat diukur dengan Konsentrasi Hambat Minimum (KHM). Konsentrasi Hambat Minimum merupakan konsentrasi minimum antibiotik untuk menghambat pertumbuhan bakteri. Penentuan KHM dapat dilakukan dengan memaparkan sejumlah tertentu populasi bakteri ke serangkaian peningkatan konsentrasi antibiotik dalam media pertumbuhan standar selama sekitar 16-20 jam [27]. Selain itu, penggunaan zat antimikroba dalam konsentrasi tinggi dapat menimbulkan efek samping atau efek fisiologis pada tubuh, sehingga diperlukan pengukuran KHM [28]. Hasil penelusuran literatur yang melaporkan nilai KHM ekstrak jamur endofit tanaman suku Zingiberaceae terhadap bakteri *S. aureus* ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Aktivitas Antibakteri Jamur Endofit Tanaman suku Zingiberaceae terhadap *S. aureus* pada Pengujian dengan Metode Mikrodilusi

Tanaman inang, bagian tanaman	Spesies/isolat jamur	Lokasi inang	Sampel yang diuji	Nilai konsentrasi hambat minimum	Referensi
<i>Z. officinale</i> , daun	<i>Trichoderma harzianum</i>	Banyumas, Jawa Tengah Indonesia	Senyawa asam isoharsianik	25 μ M	[29]
			Senyawa asam harzianik	>50 μ M	
<i>Z. officinale</i> , rimpang	<i>Phomopsis</i> sp.	Desa Sambirejo, Jawa Tengah, Indonesia	Ekstrak etil asetat	1280 μ g/mL	[30]
<i>C. alba</i> , rimpang	<i>Fusarium</i> cf. <i>solani</i>			160-320 μ g/mL	
	<i>Fusarium</i> cf. <i>oxysporum</i>			320 μ g/mL	
<i>C. domestica</i> , rimpang	Dematiaceae			320-1280 μ g/mL	
<i>C. xanthorrhiza</i> , rimpang	<i>Fusarium</i> cf. <i>solani</i>	160 μ g/mL			

Suatu senyawa yang memiliki aktivitas antibakteri dapat dilihat dari perolehan nilai KHM. Senyawa termasuk inhibitor kuat apabila KHM ≤ 500 μ g/mL, inhibitor sedang apabila KHM 600-1500 μ g/mL, dan inhibitor lemah apabila KHM ≥ 1600 μ g/mL [42]. Konsentrasi Hambat Minimum (KHM) pada jamur endofit tanaman *Z. officinale*, *C. alba*, *C. domestica*, dan *C. xanthorrhiza* berada pada rentang 160-1280 μ g/mL. Oleh karena itu, konsentrasi minimum yang dibutuhkan jamur endofit tanaman suku Zingiberaceae untuk menghambat pertumbuhan bakteri dengan sangat kuat berada pada rentang tersebut. Spesies jamur *Fusarium* cf. *solani* dari *C. xanthorrhiza* memiliki nilai KHM paling kuat yaitu 160 μ g/mL, yang mengindikasikan potensi spesies jamur endofit ini dalam pengembangan bahan baku kosmetik hijau.

Aktivitas Antioksidan

Senyawa antioksidan banyak digunakan dalam produk kosmetik. Secara umum, terdapat tiga jenis produk kosmetik antioksidan antara lain eksogen, endogen dan tanaman. Antioksidan yang banyak digunakan sebagai produk perawatan kulit yaitu antioksidan alami yang berasal dari tanaman. Antioksidan ini memiliki efek samping yang lebih sedikit dan aman. Antioksidan memiliki banyak sekali manfaat untuk kulit baik perlindungan dari dalam maupun dari luar [31]. Dalam mekanisme kerjanya, antioksidan dapat menstabilkan peran Spesies Oksigen Reaktif (SOR) pada proses *photoaging*, karsinogenesis dan inflamasi [32]. Berdasarkan studi literatur, terdapat

pengujian terhadap aktivitas antioksidan pada jamur endofit *C. longa*, *C. xanthorrhiza*, dan *Z. officinale*. Aktivitas antioksidan jamur endofit tanaman rimpang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Aktivitas Antioksidan Jamur Endofit Tanaman suku Zingiberaceae

Tanaman inang, bagian tanaman	Spesies/isolat jamur	Lokasi inang	Sampel yang diuji	IC ₅₀	Referensi
<i>C. domestica</i> , rimpang	Hypomycetes (Isolat KS-01)	Jawa Tengah, Indonesia	Ekstrak etil asetat	50,97 µg/mL	[30]
<i>C. xanthorrhiza</i> , rimpang	<i>Eupenicilium</i> sp.			61,34 µg/mL	
<i>C. longa</i> , batang	<i>Colletotrichum</i> sp.	Jawa Barat, Indonesia	Ekstrak etil asetat	78,81%	[33]
<i>C. longa</i> , bunga	Isolat Cl.Bn1	Jawa Barat, Indonesia	Ekstrak etil asetat	404,61 µg/mL	[34]
	Isolat Cl.Bn2			380,80 µg/mL	
	Isolat Cl.Bn3			634,64 µg/mL	
	Isolat Cl.Bn1+2			366,32 µg/mL	
	Isolat Cl.Bn1+3			247,90 µg/mL	
	Isolat Cl.Bn2+3			345,50 µg/mL	
	Isolat Cl.Bn1+2+3			319,74 µg/mL	
<i>C. longa</i> , daun	Isolat Bo.Ci.Cl.D1	Jawa Barat, Indonesia	Ekstrak etil asetat	24,04 mg/L	[35]
<i>Z. officinale</i> , daun, batang, dan rimpang	Isolat PAL-04R2	Sulawesi Tengah, Indonesia	Ekstrak etil asetat	10,02 µg/mL	[36]

<i>Z. officinale</i> , rimpang	<i>Aspergillus</i> <i>terreus</i>	Karnataka, India	Ekstrak etil asetat	3,34 µg/mL	[37]
<i>Z. officinale</i> , rimpang	<i>Aspergillus</i> <i>austroafricanus</i> CGJ-B3	Karnataka, India	Ekstrak etil asetat	82,00 µg/mL	[23]

Antioksidan dapat mengatasi penyakit yang berhubungan dengan radikal bebas seperti penuaan dini. Stres oksidatif intraseluler dan ekstraseluler yang disebabkan oleh SOR dapat mempercepat penuaan kulit, yang ditandai dengan kerutan dan pigmentasi atipikal. Paparan sinar ultraviolet (UV) meningkatkan pembentukan SOR dalam sel, yang memicu proses penuaan kulit [38]. Mengurangi tingkat stres oksidatif dengan suplementasi makanan dengan antioksidan yang dikenal dapat menetralkan radikal bebas dengan donasi elektron [39]. Molekul antioksidan bertindak sebagai sumber hidrogen labil yang terkait dengan radikal bebas. Antioksidan mengikat energi yang digunakan untuk pembentukan radikal bebas baru, sehingga reaksi antioksidan akan terhenti [40].

Kekuatan aktivitas antioksidan dapat dikategorikan ke dalam beberapa kategori seperti sangat aktif ($IC_{50} < 10$ mg/L), aktif ($IC_{50} < 100$ mg/L), dan tidak aktif ($IC_{50} > 100$ mg/L) [35]. Nilai IC_{50} merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui kemampuan suatu zat dalam menurunkan aktivitas DPPH sebesar 50%. Ketika nilai IC_{50} semakin kecil, maka aktivitas antioksidannya akan semakin besar [41]. Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa jamur endofit dari *C. longa*, *C. xanthorrhiza*, dan *Z. officinale* memiliki aktivitas antioksidan. Perbedaan nilai IC_{50} pada jenis tanaman yang sama dapat dipengaruhi oleh spesies jamur endofit dan bagian tanaman yang digunakan dalam isolasi jamur endofit.

4. KESIMPULAN

Jamur endofit dari tanaman rimpang seperti *Z. officinale*, *K. galanga*, *C. longa*, dan *C. xanthorrhiza* menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap bakteri *S. aureus*. Aktivitas antibakteri ini ditandai dengan perolehan zona hambat yang bervariasi, yaitu pada rentang 8-32 mm, pada pengujian secara in vitro dengan metode difusi cakram. Pada uji dengan metode mikrodilusi, Konsentrasi Hambat Minimum (KHM) ekstrak dan metabolit jamur endofit pada tanaman *Z. officinale*, *C. alba*, *C. domestica*, dan *C. xanthorrhiza* berada pada rentang 160-1280 µg/mL. Selain itu, pada jamur endofit dari tanaman rimpang *C. longa*, *C. xanthorrhiza*, dan *Z. officinale* juga menunjukkan adanya aktivitas antioksidan. Adapun aktivitas antioksidan paling kuat ditunjukkan oleh ekstrak etil asetat *Aspergillus terreus* yang diisolasi dari rimpang *Z. officinale* dengan nilai IC_{50} sebesar 3,34 µg/mL. Untuk mendukung pengembangan kosmetik hijau yang dapat menangani isu ekologi dan berkelanjutan, jamur endofit dari tanaman suku Zingiberaceae perlu dikembangkan lebih lanjut agar dapat digunakan sebagai bahan produk kosmetik, khususnya untuk produk anti jerawat dan juga *anti-aging*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas pendanaan penelitian dari Universitas Udayana kepada N.P.A., No. B/78.842/UN14.4.A/PT.01.03/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afriasih, M. U. C, "Analyzing Socially Responsible Consumption in Indonesian Customers Behavior," *Jurnal Ilmiah Publipreneur*, vol. 9, no. 2, pp. 39-44, Dec. 2021, doi: <https://doi.org/10.46961/jip.v9i2.439>.
- [2] Dini, I., and Laneri, S, "The New Challenge Of Green Cosmetics: Natural Food Ingredients for Cosmetic Formulations," *Molecules*, vol. 26, no. 13, pp. 3921, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules26133921>.
- [3] Lin, Y., Yang, S., Hanifah, H., and Iqbal, Q, "An Exploratory Study of Consumer Attitudes Toward Green Cosmetics in the UK Market," *Administrative Sciences*, vol. 8, no. 4, pp. 71, 2018, doi: [10.3390/admsci8040071](https://doi.org/10.3390/admsci8040071).
- [4] Franca, C. C. V., and Ueno, H. M, "Green Cosmetics: Perspectives and Challenges in the Context of Green Chemistry," *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, vol. 53, pp. 133-150, Apr. 2020, doi: [10.5380/dma.v53i0.62322](https://doi.org/10.5380/dma.v53i0.62322).
- [5] Chin, J., Jiang, B. C., Mufidah, I., Persada, S. F., and Noer, B. A., "The Investigation of Consumers' Behavior Intention in Using Green Skincare Products: a Pro-Environmental Behavior Model Approach," *Sustainability*, vol. 10, no. 11, pp. 3922, Okt. 2018, doi: [10.3390/su10113922](https://doi.org/10.3390/su10113922).
- [6] Kuncoro, H., and Sugijanto, N. E, "Jamur Endofit, Biodiversitas, Potensi dan Prospek Penggunaannya Sebagai Sumber Bahan Obat Baru," *Journal of Tropical Pharmacy and Chemistry*, vol. 1, no. 3, pp. 247-262, Des. 2011, doi: <http://dx.doi.org/10.25026/jtpc.v1i3.35>.
- [7] Rana, Kusam Lata, Divjot Kour, Imran Sheikh, Anu Dhiman, Neelam Yadav, Ajar Nath Yadav, Ali A. Rastegari, Karan Singh, and Anil Kumar Saxena, "Endophytic Fungi: Biodiversity, Ecological Significance, and Potential Industrial Applications." In *Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi*, pp. 1-62. Springer, Cham, Mar. 2019, doi: [10.1007/978-3-030-10480-1_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10480-1_1).
- [8] Uzma, Fazilath, Chakrabhavi D. Mohan, Abeer Hashem, Narasimha M. Konappa, Shobith Rangappa, Praveen V. Kamath, Bhim P. Singh et al., "Endophytic Fungi—Alternative Sources of Cytotoxic Compounds: A Review," *Frontiers in Pharmacology*, vol. 26, no. 9, pp. 309, Apr. 2018, doi: [10.3389/fphar.2018.00309](https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00309).
- [9] Khiralla, A., Spina, R., Yagi, S., Mohamed, I., and Laurain-Mattar, D, *Endophytic Fungi: Occurrence, Classification, Function and Natural Products, Endophytic Fungi: Diversity, Characterization and Biocontrol*. New York: Nova Sciences Publisher, 2016.
- [10] Nurnaningsih, Desi, Dedy Alamsyah, Arief Herdiansah, and Alfry Aristo Jansen Sinlae, "Identifikasi Citra Tanaman Obat Jenis Rimpang dengan Euclidean Distance Berdasarkan Ciri Bentuk dan Tekstur," *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, vol. 3, no. 3, pp. 171-178, Des, 2021, doi: [10.47065/bits.v3i3.1019](https://doi.org/10.47065/bits.v3i3.1019).

- [11] Nasution, P., Suharyanisa, S., Situmorang, M. and Manihuruk, N.P., "Pembuatan Pati dari Rimpang Lengkuas, Temulawak, Temukunci Serta Karakterisasinya," *Jurnal Farmanesia*, vol. 8, no. 2, pp.69-73. 2021.
- [12] Mayasari M, Mulyana D. I, and Yel M. B., "Komparasi Klasifikasi Jenis Tanaman Rimpang Menggunakan Principal Component Analisis, Support Vector Machine, K-Nearest Neighbor dan Decision Tree," *Jurnal Teknik Informatika Kaputama*, vol. 6, no. 2, pp. 644-655, Jul. 2021.
- [13] Maulida, Putri Kholilah, and Bayu Indradi. "Aktivitas Farmakologis *Zingiber officinale* Rosc., *Curcuma longa* L., dan *Curcuma xanthorrhiza* Roxb.," *Farmaka*, vol. 17, no. 2, pp. 150-160, 2019, doi: <https://doi.org/10.24198/jf.v17i2.21939.g11630>.
- [14] Soleh and Sandra Megantara. "Karakteristik Morfologi Tanaman Kencur dan Aktivitas Farmakologi (*Kaempferia galanga* L.) Review." *Farmaka*, vol. 17, no. 2, pp. 256-262, 2019, doi: <https://doi.org/10.24198/jf.v17i2.22089.g11687>.
- [15] Silalahi, M., "Kencur (*Kaempferia galanga*) dan Bioaktivitasnya," *Jurnal Pendidikan Informatika dan Sains*, vol. 8, no. 1, pp. 127, 2019, doi: <https://doi.org/10.31571/saintek.v8i1.1178>.
- [16] Trimanto, T., Dwiyantri, D., and Indriyani, S., "Morfologi, Anatomi dan Uji Histokimia Rimpang *Curcuma aeruginosa* Roxb; *Curcuma longa* L. dan *Curcuma heyneana* Valetton dan Zipp," *Berita Biologi*, vol. 17, no. 2, pp. 123-133, Agu. 2018, doi: 10.14203/beritabiologi.v17i2.3086.
- [17] Shan, C. Y., and Iskandar, Y., "Studi Kandungan Kimia dan Aktivitas Farmakologi Tanaman Kunyit (*Curcuma longa* L.)," *Farmaka*, vol. 16, no. 2, 2018, doi: 10.24198/JF.V16I2.17610.
- [18] Supartono, and Harjono, "Isolasi Senyawa Bioaktif dari Batang Pisang Ambon (*Musa paradisiaca* var. sapientum) Sebagai Bahan Baku Antibakteri," *Indonesian Journal of Chemical Science*, vol. 5, no. 3, pp. 206-210, 2016.
- [19] Blaskovich, M. A. T., Elliott, A. G., Kavanagh, A. M., Ramu, S., and Cooper, M. A., "In vitro Antimicrobial Activity of Acne Drugs Against Skin-Associated Bacteria," *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, pp. 1-8, Okt. 2019, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50746-4>.
- [20] Ghasemiyeh, P., Noorizadeh, K., Dehghan, D., Rasekh, S., Zadmehr, O., and Mohammadi-Samani, S., "The Role of Different Factors in Pathophysiology of Acne and Potential Therapeutic Options : A Brief Review," *Trends in Pharmaceutical Sciences*, vol. 8, no. 2, pp. 107-118, Jul, 2022, doi: <https://doi.org/10.30476/TIPS.2022.95146.1142>.
- [21] Adetutu, A. A., Oritsewehinmi, B., Ikhiwili, O. M., Moradeke, A. O., Odochi, A. S., and Adeola, O. E., "Studies on *Staphylococcus aureus* Isolated from Pimples," *Pakistan Journal of Biological Sciences*, vol. 20, no. 7, pp. 350-354, 2017, doi: <https://doi.org/10.3923/pjbs.2017.350.354>.
- [22] Breijyeh, Z., Jubeh, B., and Karaman, R., "Resistance of Gram-Negative Bacteria to Current Antibacterial Agents and Approaches to Resolve It," *Molecules*, vol. 25, no. 6, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules25061340>.

- [23] Danagoudar, A., Joshi, C. G., Sunil Kumar, R., Poyya, J., Nivya, T., Hulikere, M. M., and Anu Appaiah, K., "Molecular Profiling and Antioxidant as Well as Anti-Bacterial Potential of Polyphenol Producing Endophytic Fungus-*Aspergillus austroafricanus* CGJ-B3," *Mycology*, vol. 8, no. 1, pp. 28–38, 2017, doi: <https://doi.org/10.1080/21501203.2017.1281358>.
- [24] Sari, N. K. Y., Kawuri, R., and Parwanayoni, N. M. S., "Aktivitas Antibakteri Fungi Endofit dari Rimpang Jahe Gajah (*Zingiber officinale* var. Roscoe) terhadap *Methicillin Resistant Staphylococcus aureus* (MRSA)," *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*, vol. 7, no. 2, pp. 77, 2017, doi: <https://doi.org/10.24843/metamorfosa.2020.v07.i02.p11>.
- [25] Vo, T. N. M., Nguyen, D. N., and Nguyen, V. T., "Optimization of Culture Conditions on the Proliferation of *Aspergillus terreus* N-GL1 Strain Isolated from *Curcuma longa* L. By Design-Expert 6.0.6 And BC Pharsoft Software," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 991, no. 1, 2020, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012046>.
- [26] Rifqi Efendi, M., Rusdi, M. S., and Anisa, F., "Isolation and Antibacterial Activity Test of the Extract Ethyl Acetate of Endophytic Fungi from Kencur (*Kaempferia Galanga* L.)," *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, vol. 3, no. 2, pp. 85-92, Nov. 2020, doi: [10.36490/journal-jps.com.v3i2.42](https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v3i2.42).
- [27] Li, J., Xie, S., Ahmed, S., Wang, F., Gu, Y., Zhang, C., Chai, X., Wu, Y., Cai, J., and Cheng, G., "Antimicrobial Activity and Resistance: Influencing Factors," *Frontiers in Pharmacology*, vol. 8, no. 6, Jun. 2017, doi: <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00364>.
- [28] Afifi, R., Erlin, E., and Rachmawati, J., "Uji Anti Bakteri Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L) Terhadap Zona Hambat Bakteri Jerawat *Propionibacterium acnes* Secara In Vitro," *Quagga: Jurnal Pendidikan Dan Biologi*, vol. 10, no. 1, pp. 10–17, 2018, doi: <https://doi.org/10.25134/quagga.v10i1.803>.
- [29] Harwoko H, Lee J, Daletos G, Feldbrügge M, Kalscheuer R, and Proksch P., "Antimicrobial Compound from *Trichoderma harzianum*, an Endophytic Fungus Associated with Ginger (*Zingiber officinale*)" *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan Indonesia*, vol. 12, no. 2, pp. 151-157, Agu. 2021, doi: [10.20885/JKKI.Vol12.Iss2.art8](https://doi.org/10.20885/JKKI.Vol12.Iss2.art8).
- [30] Praptiwi, P., Palupi, K. D., Fathoni, A., Wulansari, D., Ilyas, M., and Agusta, A., "Evaluation of Antibacterial and Antioxidant Activity of Extracts of Endophytic Fungi Isolated from Indonesian Zingiberaceous Plants," *Nusantara Bioscience*, vol. 8, no. 2, pp. 306–311, 2016, doi: <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n080228>.
- [31] Haerani, Ani, Anis Yohana Chaerunisa, and Anas Subarnas., "Artikel Tinjauan: Antioksidan Untuk Kulit," *Farmaka, Universitas Padjadjaran, Bandung*, vol. 16, no. 2, pp. 135-151, Agu. 2018, doi: <https://doi.org/10.24198/jf.v16i2.17789.g8492>
- [32] Andarina, R., and Djauhari, T., "Antioksidan dalam Dermatologi," *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan*, vol. 4, no. 1, pp. 39–48, 2017.
- [33] Widowati, T., Sukiman, and Partomuan Simanjuntak, H., "Isolasi dan Identifikasi Kapang Endofit dari Tanaman Kunyit (*Curcuma longa* L.) Sebagai Penghasil Antioksidan (*The Isolation and Identification of Endophyte Fungi from Turmeric (Curcuma longa L.) as an*

- Antioxidant Producer,” Biopropal Industri*, vol. 7, no.1, pp. 9-16, Jun. 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.36974/jbi.v7i1.686>.
- [34] Septiana, E., Yadi, Y., and Simanjuntak, P., “Antioxidant Activity of Endophytic Fungi Isolated from Turmeric Flowers,” *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, vol. 12, no. 2, pp. 268–273, Agu. 2020, doi: <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v12i2.24396>.
- [35] Septiana, E., Rahmawati, S. I., Izzati, F. N., and Simanjuntak, P., “Antioxidant Activity, Total Phenolic, and Flavonoid Contents of the Extract of Endophytic Fungi Derived from Turmeric (*Curcuma longa*) Leaves,” *Journal of Pharmaceutical Sciences and Community*, vol. 16, no. 2, pp. 78–85, Feb. 2020, doi: <https://doi.org/10.24071/jpsc.001953>.
- [36] Raunsai M, Wulansari D, Fathoni A, and Augusta A., “Antibacterial and Antioxidant Activities of Endophytic Fungi Extracts of Medicinal Plants from Central Sulawesi,” *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. Vol. 8, no. 8, pp. 69-74, Aug. 2018, doi: 10.7324/JAPS.2018.8811.
- [37] Uzma, F., and Chowdappa, S., “Antimicrobial and Antioxidant Potential of Endophytic Fungi Isolated from Ethnomedicinal Plants of Western Ghats, Karnataka,” *Journal of Pure and Applied Microbiology*, vol. 11, no. 2, pp. 1009–1025, Jun. 2017, doi: <https://doi.org/10.22207/JPAM.11.2.43>.
- [38] Masaki, H., “Role of Antioxidants in the Skin: Anti-Aging Effects,” *Journal of Dermatological Science*, vol. 58, no. 2, pp. 85–90, May. 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2010.03.003>.
- [39] Vaiserman, A., Koliada, A., Zayachkivska, A., and Lushchak, O., “Nanodelivery of Natural Antioxidants: An Anti-aging Perspective” *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 7, no. 447, pp. 1-19, Jan. 2020, doi: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00447>.
- [40] Aizah, S., "Antioksidan Memperlambat Penuaan Dini Sel Manusia," *Prosiding Seminar Nasional IV Hayati*, pp. 182-185, 2016.
- [41] Salim, R., “Uji Aktivitas Antioksidan Infusa Daun Ungu dengan Metoda DPPH (*1,1-diphenil-2-picrylhidrazil*),” *Jurnal Katalisator*, vol. 3, no. 2, pp. 153-161, 2016, doi: <https://doi.org/10.22216/jk.v3i1.3372>.
- [42] Zaman, S., Al-Joufi, F. A., Zafar, M., and Zahoor, M., “Phytochemical, Antimicrobial and Cytotoxic Activities of *Gaultheria trichophylla* Royle,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 14, pp. 6921, Jul. 2022, doi: 10.3390/app12146921.